



# HMM circulaire pour la reconnaissance de caractères multiorientés

Cédric Picard

## ► To cite this version:

Cédric Picard. HMM circulaire pour la reconnaissance de caractères multiorientés. [Stage] A03-R-203  
|| picard\_03a, 2003, 19 p. inria-00107680

**HAL Id: inria-00107680**

**<https://inria.hal.science/inria-00107680>**

Submitted on 19 Oct 2006

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Rapport de stage ISIAL-LORIA

# **HMM circulaire pour la reconnaissance de caractères multi-orientés**

Cédric Picard

Juillet-Août 2003

## **Table des matières**

<b>1. PRÉSENTATION</b>	<b>5</b>
<b>1.1. LE LORIA</b>	<b>5</b>
1.1.1. HISTORIQUE	5
1.1.2. ORGANISATION DU LORIA	5
1.1.3. RESSOURCES ET PARTENARIATS	6
1.1.4. LES THÉMATIQUES DE RECHERCHE	7
1.1.5. VALORISATION ET TRANSFERT	7
<b>1.2. L'ÉQUIPE READ</b>	<b>8</b>
1.2.1. PRÉSENTATION	8
1.2.2. MOTIVATIONS	8
1.2.3. CHAMPS DE RECHERCHE	9
1.2.4. MEMBRES	9
<b>2. DESCRIPTION DU STAGE</b>	<b>10</b>
<b>2.1. CAHIER DES CHARGES</b>	<b>10</b>
<b>2.2. PROBLÉMATIQUE</b>	<b>10</b>
<b>2.3. SOLUTION PROPOSÉE</b>	<b>10</b>
<b>2.4. PROBLÉMATIQUE FINALE</b>	<b>11</b>
<b>2.5. PRÉSENTATION DES HMMS</b>	<b>11</b>
2.5.1. STRUCTURE	11
2.5.2. APPRENTISSAGE	12
2.5.3. RECONNAISSANCE	13
<b>2.6. TRAVAIL EFFECTUÉ</b>	<b>14</b>
2.6.1. MISE EN FORME D'OBSERVATIONS	14
2.6.2. PROBLÈME DE DÉCALAGE	15
<b>2.7. AUTRES TRAVAUX</b>	<b>18</b>
<b>2.8. ENVIRONNEMENT MATÉRIEL</b>	<b>18</b>
<b>2.9. BILAN</b>	<b>18</b>

Je tiens à remercier Monsieur Belaïd pour m'avoir permis d'effectuer mon stage au sein de son équipe.

Je souhaite aussi remercier Christophe Choisy, Hubert Cecotti et Szilard Vajda pour l'aide qu'ils m'ont apporté tout au long de ce stage.

Je voudrais enfin remercier l'ESIAL pour la formation qu'elle m'a apporté et qui m'a permis d'effectuer ce stage.

Dans le cadre de la formation ESIAL, j'ai effectué un stage de deux mois dans un milieu informatique. J'ai donc décidé de faire ce stage au LORIA, laboratoire de recherche de Nancy. J'ai fait ma demande pour effectuer mon stage au sein de l'équipe READ car travaillant sur la reconnaissance d'écriture, elle me permettait d'approfondir un module effectué pendant l'année et même d'en avoir une vision à un niveau différent.

Lors de ce stage, il m'a été demandé d'effectuer le développement d'un HMM circulaire (Hidden Markov Model). J'ai donc fait différents travaux allant de la familiarisation avec les HMMs, en passant par la programmation et en allant jusqu'aux tests.

Dans ce rapport je présenterais le laboratoire du LORIA et plus précisément l'équipe READ et ensuite je ferais une description de mon stage.

# 1. Présentation

## 1.1. Le LORIA

### 1.1.1. Historique

Le Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications (LORIA) est une unité mixte de recherche (UMR 7503) commune au **CNRS** (Centre National de la Recherche Scientifique), à l'**INRIA** (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique), à l'**INPL** (Institut National Polytechnique de Lorraine), et aux universités **Henri Poincaré, Nancy 1** et **Nancy 2**.

Cette unité, dont la création a été officialisée le 19 décembre 1997 par la signature du contrat quadriennal avec le Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie et par une convention entre les cinq partenaires, succède ainsi au Centre de Recherche en Informatique de Nancy (CRIN), et aux équipes communes entre celui-ci et l'Unité de Recherche INRIA de Lorraine.

### 1.1.2. Organisation du LORIA

Depuis le 1er janvier 2001, c'est **Hélène KIRCHNER** qui dirige le LORIA. Actuellement plus de trois cents personnes travaillent dans le laboratoire. Ces personnels sont répartis en 21 **équipes de recherche** et 7 **services d'aide à la recherche**.

Chaque équipe rassemble des chercheurs, des doctorants et des assistants techniques ou administratifs, pour la réalisation d'un projet de recherche. Cinq instances ont été mises en place pour assister le directeur du laboratoire, garantir la cohérence de la politique scientifique et le bon fonctionnement au quotidien :

- l'**Équipe de Direction** : composée de plusieurs membres du laboratoire, elle assiste la Directrice dans ses fonctions
- le **Comité de Gestion** : composé des chefs de **service**, il assiste le directeur dans le fonctionnement journalier du LORIA
- le **Comité des Projets** : il conseille le Directeur sur la politique scientifique du LORIA, participe à l'évaluation des projets/équipes, et instruit les restructurations nécessaires
- le **Conseil du LORIA** : il émet des avis sur la politique scientifique mise en oeuvre par le Comité des Projets. Sa composition est fixée par les statuts d'UMR.
- le **Conseil des Orientations Scientifiques** : composé de représentants des équipes de recherche, il conseille la Direction dans la gestion scientifique du laboratoire

## 1.1.3. Ressources et partenariats

### Établissements associés

LORIA est une "Unité Mixte de Recherche (UMR 7503) associant les personnels et les moyens des cinq établissements suivants :

- **CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifique
- **INPL** : Institut National Polytechnique de Lorraine
- **INRIA** : Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique
- **UHP** : Université Henri Poincaré, Nancy 1
- **Nancy 2** : Université Nancy 2

### Personnels

LORIA regroupe plus de 300 personnes dont :

- Chercheurs permanents : 109
- Thésards : 94
- ITA : 61
- Post-Doc, ingénieurs experts, membres associés : 53

Les chiffres ci-dessus ne comprennent pas les projets Inria Messins et de l'IECN

Ces personnels se répartissent ainsi dans nos établissements de rattachement :

- INRIA : 165
- CNRS : 43
- UHP : 64,5
- Nancy 2 : 40
- INPL : 24
- Divers : 73

## 1.1.4. Les thématiques de Recherche

Dans le secteur des sciences et technologies de l'information et de la communication, le LORIA possède, à travers dix neuf équipes de recherche, cent cinquante chercheurs et une centaine de doctorants, des compétences reconnues dans des secteurs en pleine évolution et porteurs de développement économique potentiel. Les activités de ces équipes sont centrées autour de cinq thématiques principales "transversales" sur lesquelles elles développent des recherches fondamentales et appliquées. Bien entendu, des équipes ont des activités dans plusieurs de ces thématiques.

- **Calculs, réseaux et graphismes à hautes performances**
- **Télé-opérations et assistants intelligents**
- **Ingénierie des langues, du document et de l'information scientifique et technique**
- **Qualité et sûreté des logiciels et systèmes informatiques**
- **Bio informatique et applications à la génomique**

## 1.1.5. Valorisation et transfert

Le LORIA développe de nombreuses relations industrielles (plus de 200 contrats en cours fin 1999) et a une importante activité de diffusion de logiciels. Six logiciels et une marque ont été déposés en 1998. Fort de près de 90 enseignants-chercheurs, le LORIA participe activement à la formation universitaire dans les domaines des sciences et nouvelles technologies. Conscient de la nécessité d'être un élément moteur du contexte socio-économique régional, le LORIA a décidé de créer le **LoriaTech** en janvier 1999, club des partenaires du LORIA, qui a pour objectifs :

- de donner accès plus rapidement aux informations sur les évolutions de la recherche et du secteur, c'est-à-dire améliorer la veille technologique des entreprises. En particulier, les membres du LoriaTech ont un accès privilégié au centre de documentation du LORIA et de l'INRIA-Lorraine.
- de monter des partenariats divers, citons en particulier :
  - dans le cadre des établissements universitaires (ESIAL, ESSTIN, ISIAL, écoles d'ingénieurs de l'INPL, IUT Informatique de Nancy2, IUP-Miage de Nancy), la possibilité de stages de projets industriels.
  - et dans le contexte du LORIA, les sujets DRT (Diplôme de Recherche Technologique), des conventions CIFRE.
- ou encore d'offrir la possibilité de partenariat LORIA-entreprises en réponse à des appels d'offre français ou européens.

Un **Espace-transfert** a été également créé fin 1999 à proximité du LORIA. Après 2 créations d'entreprises début 2000, 5 autres projets sont en cours de montage.



## 1.2. *L'équipe READ*

### 1.2.1. Présentation

READ (Reconnaissance de l'Écriture et Analyse de Documents), créée en 1993 est une équipe du LORIA.

### 1.2.2. Motivations

L'équipe effectue ses travaux sur la reconnaissance de documents et ses applications. L'orientation de ces recherches est très utile dans les milieux où l'utilisation du support papier est encore très répandue. Dans ce cadre, ces recherches permettent une manipulation plus aisée des documents. Dans le but de rendre ces techniques fiables et utilisables dans le futur, l'équipe doit aller au-delà des techniques déjà existantes. La numérisation du document papier n'est qu'une étape, il faut pouvoir identifier la structure logique et la sémantique du document afin de pouvoir l'adapter à d'autres utilisations. Cette adaptation peut également concerner les documents déjà sous forme électronique (Web, PDF, etc.), mais présentant un degré d'information trop faible. Il est nécessaire d'atteindre un plus haut niveau d'abstraction sur les documents, par exemple par l'ajout de méta-données.

La reconnaissance d'un document se fait à deux niveaux : au niveau de l'information brute (écriture, chiffres, lettres, ...) et à un niveau plus abstrait (logique, sémantique, ...)

Pour ce qui est de l'information brute, l'équipe se pose de nouveaux défis. Ainsi pour l'écriture manuscrite, l'équipe oriente ses recherches théoriques sur les modèles stochastiques avec une orientation bidimensionnelle. Pour l'écriture imprimée, vue sa simplicité et l'existence d'outils commerciaux, l'équipe concentre ses efforts plutôt sur la combinaison des résultats que d'ouvrir de nouvelles thématiques de recherche. L'orientation actuelle concerne les caractères muti-orientés et multi-échelles qui bien qu'imprimés, posent des problèmes difficiles en reconnaissance.

## 1.2.3. Champs de recherche

Trois grands axes de recherches ont été pris par l'équipe :

- **La reformulation des documents** déjà structurés en prenant en compte des contraintes sur les trois types de structure (physique, logique et sémantique). Cela va permettre d'adapter les documents existants pour une manipulation la plus proche possible des besoins et demandes des utilisateurs, en tenant compte des contraintes du support.
- **La retro-conversion de documents** permettant la valorisation et la capitalisation de documents anciens n'existant qu'en format papier.
- **La reconnaissance d'écriture manuscrite** qui a une marge de progression encore très grande, étant pour le moment encore au stade de la recherche ne permettant pas son utilisation courante. La recherche s'orientera vers un élargissement du vocabulaire et une amélioration de leurs capacités (meilleure prise en compte 2D, complémentarité entre les visions globale et analytique, etc.).

## 1.2.4. Membres

### Responsable Scientifique

- Abdel Belaïd Professeur, Université de Nancy 2

### Assistante du Projet

- Danielle Marchand A mi temps tous les après-midi sauf jeudi

### Membres

- Yolande Belaïd Maître de conférences à l'Université de Nancy 2
- Hubert Cecotti Doctorant, Université de Nancy 2
- Christophe Choisy Docteur, ATER à l'Université de Nancy 2
- Szilard VAJDA Doctorant, 1ère année de thèse
- Yves Rangoni, Doctorant, 1ère année de thèse

### Co-encadrements

- Julien Gannard Doctorant, ENSAIS, Strasbourg
- Samia Maddouri Doctorante, ENIT, Tunisie

## 2. Description du stage

### 2.1. *Cahier des charges*

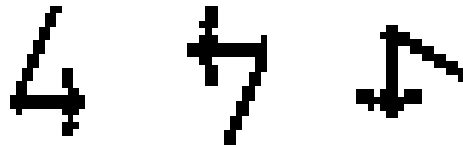
Le but de ce stage est de réaliser un système stochastique type HMM (Hidden Markov Model ; Model de Markov caché).

Ce travail rentre dans le cadre d'un projet visant à reconnaître des caractères multi orientés saisis sur des schémas de plans EDF.

### 2.2. Problématique

Le problème posé par ce projet concerne donc la reconnaissance de caractères multi orientés.

L'exemple ci-dessous illustre le problème d'orientation du chiffre « 4 »

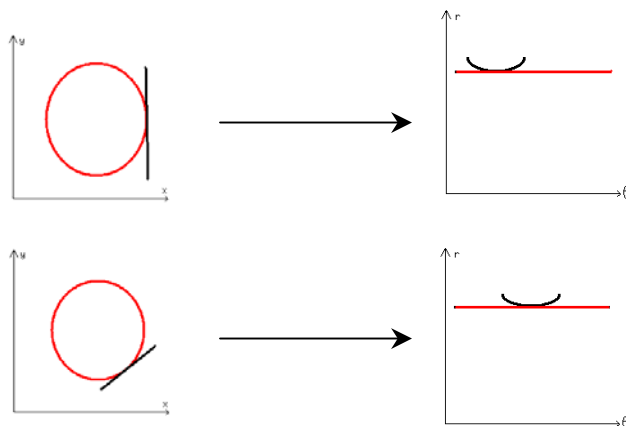


Pour le cerveau humain, il est simple de reconnaître trois fois le caractère « 4 », mais pour un système stochastique, ces trois caractères sont trois caractères complètement différents. Le but est donc de reconnaître ces « 4 » comme identiques.

### 2.3. Solution proposée

Il faut donc trouver un système capable de résoudre ce problème de rotation. L'idée est d'utiliser une transformation en coordonnées polaires. Cela permet de résoudre le problème de la rotation, mais cette transformation a pour conséquence un problème de translation plus facile à gérer.

Dans l'exemple suivant on voit bien que dans le nouveau repère, la différence entre les caractères orientés n'entraîne qu'un simple décalage.



La figure suivante montre l'image du chiffre 4 en transformée en  $r, \theta$ . Ces images sont les images de la base de travail.



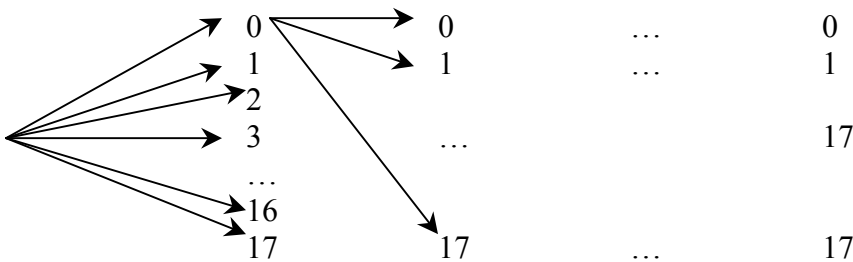
### 2.4. Problématique finale

Nous nous proposons de résoudre cette problématique à l'aide d'un modèle stochastique de type modèle de Markov caché (Hidden Markov Model) à topologie circulaire.

### 2.5. Présentation des HMMs

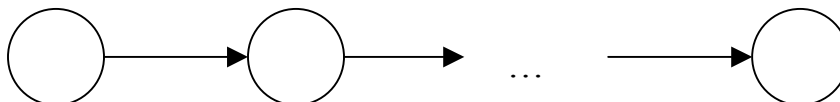
#### 2.5.1. Structure

Dans l'explication suivante nous travaillerons sur une observation de type vecteur d'entiers. On lit au fur et à mesure ces entiers pour au final reconnaître le mot. On peut représenter cette lecture de la façon suivante :



À chaque nouvel entier, on a une possibilité de voir le caractère suivant.

On peut faire évoluer ce système vers un automate à états finis :



Dans chaque état on a la possibilité d'observer un entier entre 0 et 17. On commence à voir apparaître ici la structure d'un HMM. Pour compléter, il faut introduire des probabilités.

Le principe du HMM est d'avoir des probabilités d'observations lors des étapes.

Prenons un exemple : reconnaissance d'un mot dans la langue française. Prenons un mot de 5 lettres. La probabilité par exemple d'observer un A à la première étape sera plus grande que celle d'observer un X.

Dans notre cas, la méthode est un peu différente. On reconnaît une suite d'entiers dans un modèle qui n'est pas la langue française mais un caractère. Le HMM est aussi basé sur un apprentissage qui permet de fixer les probabilités de transitions et celles d'observations.

On obtient donc un automate représenté par des transitions entre les états (modélisé par une matrice  $A$ , matrice des probabilités de transitions), par des probabilités d'observation d'un symbole  $a$  à un état donné (modélisé par une matrice  $B$ , matrice des probabilités d'observation), et on introduit de plus un vecteur  $\pi$  vecteur des probabilités de démarrer à un état donné.

Pour chaque caractère, on effectue un apprentissage (dont on verra le fonctionnement plus tard) sur ces trois composants. On obtient donc un modèle différent pour chaque caractère qui nous permettra de savoir si une image appartient ou pas à cette classe.

Si par exemple un caractère est représenté de la façon suivante en général :  
1-15-2-6-8-5-5-7-142-15-17-...

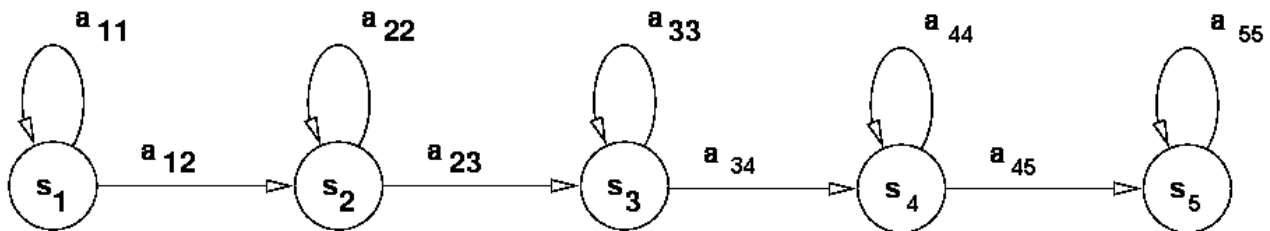
C'est-à-dire qu'à quelques changements prêt il aura souvent cet allure là, notre automate aura une forte probabilité d'observer un 1 a la première étape dans ce model et disons une faible d'observer 2 et 0...

### 2.5.2. Apprentissage

L'apprentissage permet de modifier les différentes matrices et vecteurs pour les rendre plus fidèles à un modèle. Cela revient à faire passer les observations dans un modèle initial et de regarder comment il se comporte, voir quels états sont privilégiés et quelles observations se font quand ?

Cet apprentissage permet en prenant plusieurs exemples d'observations d'estimer la matrice  $A$ , la matrice  $B$  et le vecteur  $\pi$ .

Par exemple si l'on prend le modèle suivant :



Avec comme possibilité d'observation 1, 2 et 3.

On prend un modèle initial suivant :

A = 1 1 0 0 0	B= 0.33 0.33 0.33	Pi = 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33
0 1 1 0 0	0.33 0.33 0.33	
0 0 1 1 0	0.33 0.33 0.33	
0 0 0 1 1	0.33 0.33 0.33	
0 0 0 0 1	0.33 0.33 0.33	

On a les exemples suivants :

1 1 1 2 3

1 1 2 3 3

1 2 2 2 3

Après apprentissage le model deviendra :

A = 1 1 0 0 0	B= 1 0 0	Pi = 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33
0 1 1 0 0	0.66 0.33 0	
0 0 1 1 0	0.33 0.66 0	
0 0 0 1 1	0 0.66 0.33	
0 0 0 0 1	0 0 1	

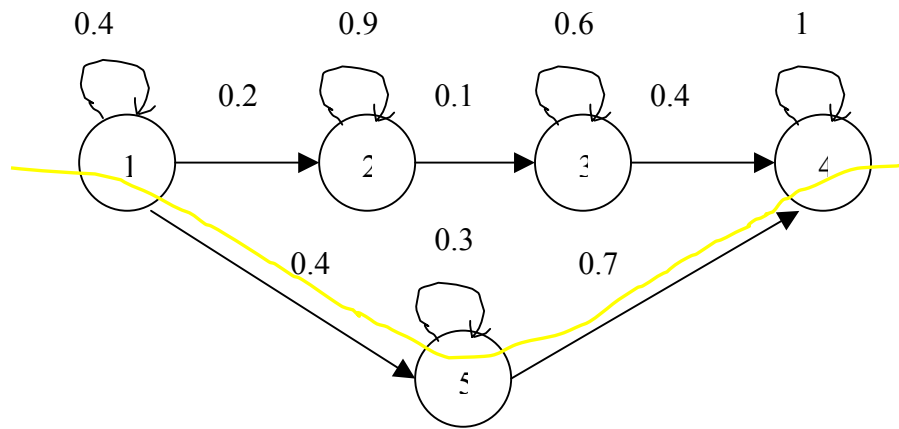
Cela signifie que lors de l'apprentissage, il n'a été observé à l'étape 1 que le symbole 1 (ce qui explique la probabilité de B[1][1] à 1 et celles de B[1][2] et B[1][3] à 0). Il en va de même pour les autres lignes.

### 2.5.3. Reconnaissance

La reconnaissance se fait par l'algorithme de Viterbi.

Cet algorithme permet à l'aide d'un modèle et en prenant une observation en entrée de donner le chemin optimal de cette observation et donc sa probabilité optimale d'appartenance à la classe.

Exemple :  
Avec le modèle suivant :



Avec les probabilités d'observation suivantes :

S1 : 1 : 0.8	S2 : 1 : 0.2	S3 : 1 : 0	S4 : 1 : 0	S5 : 1 : 0
2 : 0.2	2 : 0.8	2 : 0.8	2 : 0.2	2 : 1
3 : 0	3 : 0	3 : 0.2	3 : 0.8	3 : 0

Dans le cas de la recherche du chemin optimal pour l'observation 1 1 2 3 3, la solution est : 1 1 5 4 4 ; c'est le chemin qui donne la meilleur probabilité

## 2.6. Travail effectué

### 2.6.1. Mise en forme d'observations

La transformation  $(r, \theta)$  fournit une matrice  $32 \times 16$  contenant des entiers compris entre 0 et 255, représentant les niveaux de gris des pixels de l'image. Ne pouvant traiter cette image directement, quelques transformations sont nécessaires pour obtenir une observation linéaire en entrée du HMM.

Tout d'abord la matrice  $32 \times 16$  est subdivisée en carrés de  $4 \times 4$ , et la somme des niveaux de gris est calculée pour chacun de ces carrés, conduisant à une matrice  $8 \times 4$ . La matrice est linéarisée en mettant bout à bout ses colonnes, donnant lieu à un vecteur de longueur 32. Pour terminer on transforme la somme des niveaux de gris en nombre de points noirs global : tous les 255, la valeur augmente de 1.

Au final, l'image est représentée par un vecteur de longueur 32 ayant pour valeur un entier compris entre 0 et 17.

### 2.6.2. Problème de décalage

Il faut maintenant voir comment résoudre ce problème de décalage.

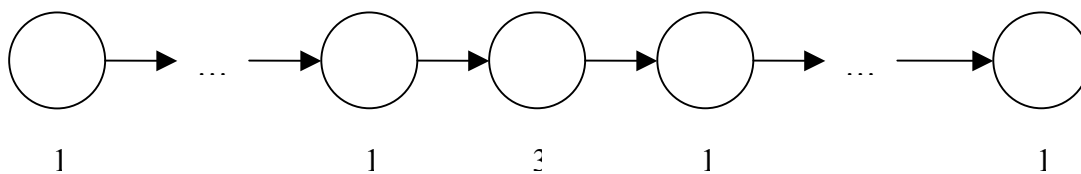
Prenons par exemple un caractère qui serait représenté de la manière suivante en général :

1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-3-1

Ceci n'est bien sûr qu'un exemple. Le même caractère orienté différemment serait de la forme suivante :

1-1-1-1-3-1

Si l'apprentissage a été fait avec des caractères droits on aurait eu un modèle de la forme suivante (les chiffres en-dessous des états étant le chiffre dont la probabilité d'observation est la plus grande).



Si on ajoute une transition entre la dernière et la première étape et que l'on rend l'entrée dans le HMM équiprobable pour chaque état, on obtient un HMM sans réel début ni fin, lors de la reconnaissance, l'entrée se fera donc dans l'étape optimale, ce qui revient dans notre exemple à rentrer dans l'état qui calera le 3 dans la bonne étape, ce qui rendra la probabilité de reconnaissance du caractère meilleure.

Cet ajout d'une transition permet donc de régler ce problème de décalage et de plus permet en connaissant l'étape d'entrée de connaître l'orientation du caractère.

### 2.4.3 Apprentissage

Pour l'apprentissage, nous avons utilisé l'algorithme de Baum Welch :

Soit un modèle initial  $\lambda_0 = (A^0, B^0, \pi^0)$

Tel que :

$$a_{ij} = A[i][j] \quad 1 \leq i, j \leq \text{Nb d'état}$$
$$b_j(k) = B[j][k] \quad 1 \leq j \leq \text{Nb d'état} \quad 1 \leq k \leq \text{nb observation}$$



L'algorithme est alors le suivant :

1. Fixer les valeurs initiales de  $\lambda_0$
2. Calculer  $\lambda_{n+1}$  à l'aide des formules de re-estimation

$$\pi_i^{n+1} = \gamma_1(i)$$

$$a_{ij}^{n+1} = \sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i,j) / \sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)$$

$$b_j(k)^{n+1} = \sum_{t=1, O_t=vk}^T \gamma_t(j) / \sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(j)$$

3. recommencer en 2 jusqu'en un certain point limite

Tel que :

$$\xi_t(i,j) = \alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)$$

$$\gamma_t(i) = \sum_{j=1}^N \xi_t(i,j)$$

- Alpha

*Initialisation*

$$\alpha_1(i) = \pi_i b_i(O_1)$$

*Induction*

$$\alpha_{t+1}(i) = \left( \sum_{j=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} \right) b_j(O_{t+1})$$

- Beta

*Initialisation*

$$\beta_T(i) = 1$$

*Induction*

$$\beta_{t+1}(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} \beta_t(i) b_j(O_{t+1})$$

### 2.4.4 Chemin optimal

La reconnaissance se fait à l'aide de l'algorithme de Viterbi.

#### Initialisation

$$\delta_1(i) = \pi_i b_i(O_1)$$

$$\psi_1(i) = 0$$

#### Induction

$$\delta_t(i) = \max_{1 \leq j \leq N} [\delta_{t-1}(j) a_{ji}] b_i(O_t)$$

$$\psi_t(i) = \operatorname{argmax}_{1 \leq j \leq N} [\delta_{t-1}(j) a_{ji}]$$

argmax permet de mémoriser l'indice  $j$  avec lequel on atteint le maximum

### 2.4.5 Différences apportées par le CHMM

Dans un premier temps, j'ai mis en place un modèle dont le nombre d'états est égal au nombre d'observations c'est-à-dire 32. Cela n'a entraîné donc que des modifications mineures sur la structure elle-même du HMM. En effet le seul changement noté est la modification de la matrice  $A$  qui est passé de l'état suivant :

$$A = \begin{matrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{matrix}$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

à celui-ci :

$$A = \begin{matrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{matrix}$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

Par la suite si on veut diminuer le nombre d'états, il faut introduire des bouclage sur les étapes qui se serait traduit par la mise à 0.5 des 1 existants dans la matrice  $A$  et de toute sa diagonale. De plus il faudrait introduire des transitions de sorties pour éviter au HMM de reprendre un état déjà utilisé précédemment.

Du point de vue de l'apprentissage, le déroulement est quasiment identique mis à part le fait que l'on force l'entrée en changeant le vecteur  $\pi$  pour aligner avec l'orientation du caractère (que l'on doit donc connaître lors de l'apprentissage)

Pour le chemin optimal, la seule modification apportée est l'équiprobabilité de la matrice des probabilités d'entrée.

### 2.4.6 Autre apports

Dans ce programme j'ai aussi développé des fonctions de sauvegarde, de chargement et d'affichage pour un fonctionnement plus pratique du programme.

### 2.7. *Autres travaux*

Avant le développement du CHMM il m'a fallu me familiariser avec les HMMs, je me suis donc documenté et j'ai appris à utiliser ce modèle. La première partie de mon stage a donc consisté à chercher et lire des articles, livres et thèses concernant ce sujet.

De plus lors de mon stage, des partenaires étrangers de l'équipe ont effectué un séjour en France. J'ai donc effectué une présentation de mon travail, ce qui m'a permis de voir non pas seulement l'aspect recherche du laboratoire mais aussi l'aspect relationnel.

### 2.8. *Environnement matériel*

Pour la réalisation de ce travail, j'avais à ma disposition un poste sous Windows avec X-win, j'avais aussi accès à des salles informatique munies de postes reliés à un serveur Linux et à un autre serveur Windows.

Le développement du CHMM se faisant en C/C++, l'accès à Linux suffisait au bon déroulement du stage.

Pour l'apprentissage et le test des modèles, j'ai eu accès à la base EDF contenant toutes les images, mais aussi à la base MNIST (base internationale de référence pour la reconnaissance de caractère).

### 2.9. *Bilan*

Lors de ce stage je n'ai pas pu pousser mon travail jusqu'aux tests sur la base EDF mais voici les résultats obtenus lors des tests sur la base MNIST :

Taux de reconnaissance :

Sur la base d'apprentissage :

Caractère 0 : 91.75%  
Caractère 1 : 94.82%  
Caractère 2 : 73.73%  
Caractère 3 : 77.41%  
Caractère 4 : 78.09%  
Caractère 5 : 73.91%  
Caractère 6 : 85.10%  
Caractère 7 : 82.05%  
Caractère 8 : 78.16%  
Caractère 9 : 71.00%

Sur la base de test :

Caractère 0 : 96.47%  
Caractère 1 : 92.06%  
Caractère 2 : 69.82%  
Caractère 3 : 73.83%  
Caractère 4 : 68.18%  
Caractère 5 : 63.21%  
Caractère 6 : 71.26%  
Caractère 7 : 71.71%  
Caractère 8 : 69.66%  
Caractère 9 : 58.51%

Ce stage a été pour moi le premier contact direct avec le milieu informatique professionnel. Même si ce ne sera peut être pas le type de milieu dans lequel se fera mon avenir professionnel (recherche), ce stage m'aura permis de voir ce à quoi pourra ressembler mon futur travail.

Mais lors de ce stage, j'ai appris bien plus sur moi-même que sur le milieu professionnel informatique. En effet, je me suis d'abord rendu compte que j'étais capable d'assimiler un concept qui m'était jusqu'alors inconnu (HMM) pour le besoin de mon projet, ce qui est une qualité essentielle d'un ingénieur. De plus je me suis aperçu que je pouvais me remettre assez facilement à faire certaines choses que je n'avait pas fait depuis quelques temps (Langage C) et ceci aussi est une qualité essentielle d'un ingénieur.

Ce stage m'a donc enrichie doublement : d'abord en me donnant un aperçu de mon futur et ensuite en me montrant que j'ai la capacité de l'assumer.

Ce stage aura donc été très instructif pour moi et rassurant pour cette entrée décisive dans ma dernière année d'étude.